

基于描述逻辑的空间推理研究^{*}

刘亚彬 陈 岗

(上海财经大学信息系 上海200433)

摘 要 本文讨论了具体域的可用性,首先介绍了 ALC(D)描述的具体域 D,然后定义了适用于由点、线和区域共同组成的具体域 DP,扩展了描述逻辑 ALC(D),指出适用于空间推理的描述逻辑能通过术语推理将定性信息和定量信息结合起来,以用于定性空间推理。

关键词 具体域,描述逻辑,ALC(D),DLSR(DP),空间推理

The Research of Spatial Reasoning in Description Logic

LIU Ya-Bin CHEN Gang

(Department of Information, Shanghai University of Finance & Economics, Shanghai 200433)

Abstract This paper talks about the possibility of concrete domain. It first introduces the specific domain D described by ALC(D), then defines the proper specific DP consisting of points, lines and areas, then expands the logic description ALC(D), brings out that the DLSR(DP) description logic fit for spatial reasoning can combine qualitative information and quantitative information through terminological reasoning when used to qualitative spatial reasoning.

Keywords Concrete domain, Description logic, ALC(D), DLSR(DP), Spatial reasoning

1 引言

描述逻辑(Description Logic)是为了表示概念和概念层次知识而设计的知识表示语言,可以合并并且给出众所周知的基于框架(Frames)、语义网络(Semantic Networks)、面向对象的表示(Object-oriented Representations)、语义数据模型(Semantic Data Models)的系统的逻辑基础。其基本构件是概念(Concepts)、任务(Roles)和个体(Individuals)。概念描述个体集合的公共属性并且可以视为个体集合的一元谓词,任务被解释为个体间的二元关系^[1,2]。描述逻辑的主要推理工作是包含和可满足性检验。目前,描述逻辑系统已经被广泛用于概念建模、信息综合、查询机制、视图维护、软件管理系统、规划系统、布局系统和自然语言理解^[3,4]。

描述逻辑的知识库 KB(Knowledge Base)由术语(Terminology)或者称 TBox(Terminology-Box)和断言(Assertion)或者称 ABox(Assertion-Box)组成,其中,TBox 和 ABox 都是由公理组成的^[3,4]。TBox 通常以蕴涵公理的形式断言关于概念和任务的事实;ABox 通常以例化公理的形式断言关于个体的事实。

在利用描述逻辑进行推理时,术语知识表示方法用于引进应用域的相关概念。此外,具体对象可以根据具体对象对概念的从属关系和具体对象间的相互关系来描述。术语知识表示方法的一个重要特征是它们具有在形式上有充分根据的语义,并且它们可以从显式表示的知识中推断出隐含知识。

定性空间推理被广泛应用于地理信息系统、机器人导航、高级视觉、自然语言理解、工程设计和物理位置的常识推理等领域^[5]。已经发表了很多关于空间结构的形式推理理论,例如

众所周知的 RCC 理论^[6]。尽管这些定性空间推理理论获得了广泛的应用,但是在定性空间推理的许多应用中,还必须考虑到如何把概念知识和定量数据结合起来,因此其它方法也是必需的。

为了充分地支持空间区域间定性关系的可判定推理和定量数据性质的可判定推理,本文讨论了把描述逻辑用于空间推理的可能性,介绍了 ALC(D)描述逻辑的具体域 D,然后定义了适用于由点、线和区域共同组成的具体域 DP,给出了具体域可满足性检验算法,为提出了适用于空间推理的 DLSR(DP)描述逻辑奠定基础。

2 ALC(D)描述逻辑的具体域 D

描述逻辑 ALC(D)通过与具体域的结合来支持具体知识的表示。我们首先介绍 Baader 和 Hanschke 提出的 ALC(D)描述逻辑中的具体域 D,然后给出具体域 DP 的定义。

定义1 具体域 D 是一个 (Δ_D, Φ_D) 对,其中, Δ_D 是一个被称为域的集合, Φ_D 是谓词名集合。 Φ_D 中的每个谓词名 P 都与数量 n 联系在一起,并且一个 n 元谓词 $P^D \subseteq \Delta_D^n$ 。当且仅当具体域 D 的谓词名集合在“非”运算下是闭合的并且包含一个 Δ_D 名,并且有限个谓词的合取运算的可满足性是可判定的,具体域 D 被称为容许的。

3 DLSR(DP)描述逻辑的具体域 DP

在表示空间对象和对空间对象的关系进行推理时,要处理的空间对象不是针对于 R^2 上的任意点的集合,而是针对于可以作为空间实体基元的点、线和区域。下面,我们根据定义1

^{*} 本文研究得到国家自然科学基金(空间推理和空间知识表示研究及应用69883003)、国家863高科技项目基金(农业专家系统开发平台863-306-ZB05-01-2)和吉林大学符号计算与知识工程国家教育部开放实验室基金的资助。刘亚彬 博士,副教授,主要研究方向为知识工程和空间推理。陈 岗 副教授,主要研究方向为知识工程和空间推理。

来定义 DLSR(DP)描述逻辑的具体域 DP 。

定义2 具体域 DP 是一个 (Δ_{DP}, Φ_{DP}) 对, 其中, Δ_{DP} 是一个由点、线和区域(多边形)组成的集合, Φ_{DP} 是谓词名集合。 Φ_{DP} 中的每个谓词名 P 都与数量 n 联系在一起, 并且一个 n 元谓词 $P^n \subseteq \Delta_{DP}$ 。当且仅当具体域 DP 的谓词名集合在“非”运算下是闭合的并且包含一个 Δ_{DP} 名, 并且有限个谓词的合取运算的可满足性是可判定的, 具体域 DP 被称为容许的。

Φ_{DP} 中的谓词的形式为 $PP_{\alpha/\beta}(O_1, O_2)$ 。其中, PP 是表示空间对象之间关系的谓词名。 O_1 和 O_2 是表示相应的空间对象的参数。 α/β 是约束参数的符号, α 和 β 的值可以是 p 、 l 和 a , p 、 l 和 a 分别表示谓词的参数是点、线和区域。 $PP_{\alpha/\beta}^{-1}(O_1, O_2)$ 表示 $PP_{\alpha/\beta}(O_1, O_2)$ 的逆关系。 Φ_{DP} 包括45个表示空间关系的基本二元谓词, 其中包括2种点/点关系、3种点/线关系、3种点

/区域关系、15种线/线关系、14种线/区域关系和8种区域/区域关系。

可以根据集合理论给出这些关系的简明拓扑解释。不失一般性, 令点 P 可以用一个只包含一个元素的集合 $\{p\}$ 来表示; 线 L 可以用两个集合 CL 和 IL 的来表示, CL 表示线 L 的两端点的集合, IL 表示线 L 的除两个端点以外的点的集合; 区域 A 可以用两个集合 CA 和 IA 的来表示, CA 表示区域 A 的边界, IA 表示区域 A 的内部。 Φ_{DP} 中的2种点/点关系、3种点/线关系、3种点/区域关系、15种线/线关系、14种线/区域关系和8种区域/区域关系分别如图1、图2、图3、图4、图5和图6所示。限于篇幅, 我们只给出图2和图6所示的拓扑解释, 见表1和表2。

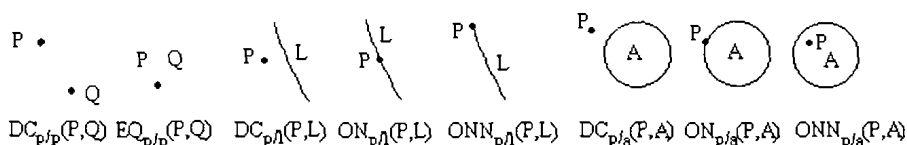


图1 点/点关系

图2 点/线关系

图3 点/区域关系

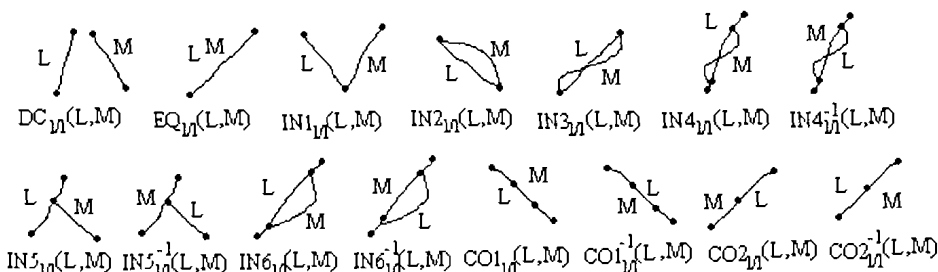


图4 线/线关系

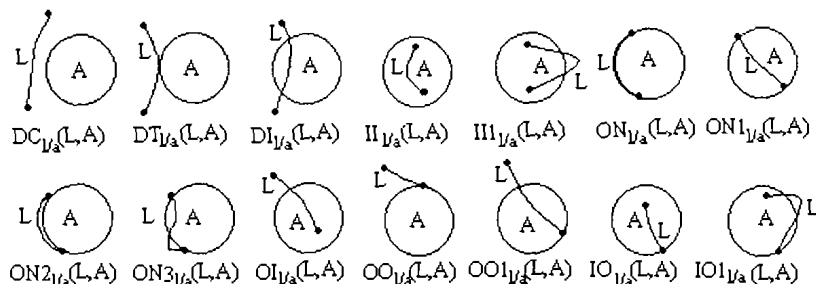


图5 线/区域关系

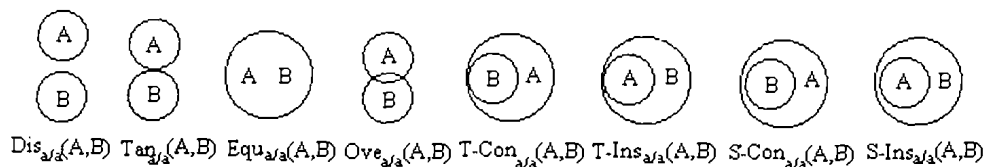


图6 区域/区域关系

表1 点/线关系的拓扑解释

点/线关系	拓扑约束
$DC_{p/l}(P, L)$	$P \in CL, p \in IL$
$ON_{p/l}(P, L)$	$P \in IL$
$ONN_{p/l}(P, L)$	$P \in CL$

DP 的容许性标准涉及有限个谓词合取的可满足性。因

为基本谓词是相互排斥和穷举的, 所以基本或合成谓词的“非”可以通过简单的语法变换分解为基本空间谓词的析取。

二元谓词合取的一致性通常被视为二元约束的满足问题。根据这种观点, 合取可以被表示为约束网络, 其中, 节点根据变量名定义, 边通过节点对间析取关系的关系集合来标注。标准的判定这种网络的可满足性的技术是基于合成表的路径一致性方法。换句话说, 合成表直接对三个区域之间的所谓的

路径一致的空间关系进行编码。

表2 区域/区域关系的拓扑解释

区域/区域关系	拓扑约束
$Dis_{a/a}(A, B)$	$CA \cap CB = \emptyset, IA \cap IB = \emptyset$
$Tan_{a/a}(A, B)$	$IA \cap IB = \emptyset, CA \cap CB \neq \emptyset$
$Ove_{a/a}(A, B)$	$IA \cap IB \neq \emptyset, CA \cap CB \neq \emptyset, IA \neq IB$
$Equ_{a/a}(A, B)$	$CA = CB, IA = IB$
$T-Con_{a/a}(A, B)$	$IB \subset IA, CA \cap CB \neq \emptyset$
$T-Ins_{a/a}(A, B)$	$IA \subset IB, CA \cap CB \neq \emptyset$
$S-Con_{a/a}(A, B)$	$IB \subset IA, CA \cap CB = \emptyset$
$S-Ins_{a/a}(A, B)$	$IA \subset IB, CA \cap CB = \emptyset$

4 具体域可满足性检验算法

可是,一般来说路径一致性并非充分的一致性标准。因此,一个补充步骤是要求保证全局的一致性。根据 Nebel 和 Renz 的讨论^[8,9],最坏的情况的复杂性取决于在约束网络中实际遇到的关系(基本关系的析取),在这种情况下,为了实现全局一致性,指数算法是必需的。可是,Nebel 和 Renz 证明了:对于确定的 EDP 子集来说,全局一致性等效于路径一致性。因此,一个用于具体域可满足性检验的算法可以分为如下三个主要步骤:

(1)“非”谓词通过相应的基本谓词束语的析取来置换。然后通过单个谓词或谓词的析取组成每个合取式。此外,对于每个合取式来说,可以添加一个新的表示逆关系的合取式。

(2)位置谓词引进了具体空间对象。借助于计算几何的标准算法,具体空间对象之间的基本拓扑关系可以被简化为两个具体空间对象交集的检验,可以把具体空间对象视为变量。

(3)第三步是检验关系的一致性。必须计算全局一致解(路径一致性可以被简化为修剪步骤)。如果没有找到全局一致解,返回“不可满足”,否则返回到“可满足的”。

(上接第88页)

Knows 规则,需要判定能否找到一个等价的主体 E' 使得 E' knows service。对 E' 使用 Extract 规则,有:

$$E[Istv_E \cup \{\{Price\}_{K_S^{-1}}, Price\}_{K_E^{-1}}\}](\dots, []) \equiv$$

$$E[Istv_E \cup \{\{Price\}_{K_S^{-1}}, Price\}_{K_E^{-1}} \cup Price\}](\dots, []) \equiv$$

E'

因此 $Service \in Istv_{E'}$,除此之外还可以用 Construct 规则对 E' 进行构造,但构造中不可能生成 service,因此 E' knows service 为 false,因此(A1)成立,同样,我们可以判定(A2)成立。现在判定(A3)是否成立。

$$E^3 \equiv E[Istv_E \cup \{\{Price\}_{K_S^{-1}}, Price\}_{K_E^{-1}} \cup \{Service\}_{K_S^{-1}}\}](\dots, [])$$

利用 Extract 规则,有

$$E[Istv_E \cup \{\{Price\}_{K_S^{-1}}, Price\}_{K_E^{-1}} \cup \{Service\}_{K_S^{-1}}\}](\dots, []) \equiv$$

$$E[Istv_E \cup \{\{Price\}_{K_S^{-1}}, Price\}_{K_E^{-1}} \cup \{Service\}_{K_S^{-1}} \cup Service\}](\dots, [])$$

再使用 Knows 规则,可知 E^3 knows service 为 True。检查公式 S^3 knows ServiceAcknowledge,

$S^3 \equiv S[Istv_S \cup \{\{price\}_{K_S^{-1}}, price\}_{K_E^{-1}}, \{Service\}_{K_S^{-1}}\}](\dots, [])$ 明显 S^3 knows ServiceAcknowledge 为 false。因此公式(A3)不成立。因此 IBS 协议不满足商品原子性。

结束语 本文讨论了文[3]所提出的分析电子商务协议的方法,指出了文[3]所存在的一些局限,并在分析了电子商

可见,具体领域 DP 是容许的。

结束语 在本文中,我们定义了适用于由点、线和区域共同组成的具体域 DP,给出了具体域可满足性检验算法,为提出了适用于空间推理的 DLSR(DP)描述逻辑奠定基础。在接下来的研究中,我们将提出描述逻辑 DLSR(DP),讨论其语法、语义、约束和算法。

参考文献

- 1 Baader F, Hanschke P. A scheme for integrating concrete domain into concept languages. In: Twelfth Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Aug. 1991. 452~457
- 2 Lutz C. Reasoning with concrete domain. In: Proc. of the Sixteenth Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence IJCAI-99, Stockholm, Sweden, 1999
- 3 Lutz C. Reasoning with Complexity of terminological reasoning revisited. In: Proc. of the 6th Intl. Joint Conf. on Logic for Programming and Automated Reasoning (LPA'99), number 1705 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Sep. 1999. 181~200
- 4 Horrocks I, Sattler U, Tessaris S, Tobies S. Query Containment using a DLR ABox: [LTCS-Report 00-15]. LuFG Theoretical Computer Science, RWTH Aachen, Germany
- 5 Faltings B. Qualitative spatial reasoning using algebraic topology. In: A U Frank and W Kuh, eds. Spatial Information Theory: a theoretical basis for GIS, volume 988 of Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Springer-Verlag, 1995. 17~30
- 6 Randell D A, et al. A spatial logic based on regions and connection. In: B. Nebel, W. Swartout, C. Rich, eds. Principles of Knowledge Representation and Reasoning of the 3rd Intl. Conf. - Cambridge MA, Morgan Kaufmann, 1992. 165~176
- 7 Baader F, Hanschke P. A scheme for integrating concrete domains into concept languages. In: Twelfth Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Aug. 1991. 425~457
- 8 Nebel B. Computational properties of qualitative spatial reasoning: First results. In: I. Wachsmuth, C. -R. Rollinger, W. Brauer, eds. Proc. KI-95: Advances in Artificial Intelligence, 19th Annual German Conf. on Artificial Intelligence, Volume 981 of LNAI, Springer-Verlag, Sep. 1995. 233~244
- 9 Renz J, Nebel B. On the complexity of qualitative spatial reasoning: A maximal tractable fragment of the region connection calculus. In: Proc. of 15th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI97), Aug. 1997. 522~527

务原子性的特点的基础上,提出了一种新的方法使其能够对电子商务协议的原子性进行分析。然而这种方法还不分析协议的认证性,如何将进程演算和逻辑分析进一步结合,以分析协议认证性等安全性质,这仍需要进一步研究。

参考文献

- 1 Gritzalis S, Spinellis D, Georgiadis P. Security Protocols over Open Networks and Distributed Systems: Formal Method for Their Analysis, Design and Verification. Computer Communications, 1999, 22(8): 695~707
- 2 Burrows M, Abadi M, Needham R. A Logic of Authentication. ACM Transactions on Computer Systems, 1990, 8(1): 18~36
- 3 Papa M, Bremer O, Hale J, Shenoi S. Formal Analysis of E-Commerce Protocols. In: Proc. of the 5th Intl. Symposium on Autonomous Decentralized Systems, Vol. E84-D, 2001. 19~28
- 4 Abadi M, Gordon. Reasoning about Cryptographic Protocols in the Spi Calculus. CONCUR'97: Concurrency Theory, 1997, 1243: 59~73
- 5 Tygar J D. Atomicity in Electronic Commerce. In: Proc. of the 15th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. 1996. 8~26
- 6 Zhou Jian-ying, Gollman D. A Fair Non-repudiation Protocol. In: Proc. of the 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy. 1996. 55~61
- 7 O'Toole K R. The Internet Billing Server Transaction Protocol Alternatives. INTR-1, Carnegie Mellon University, Information Networking Institute, 1994, 4